

Studi Eksperimen Variasi Laju Pendinginan Kondensor pada Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF

Boby Himawan Putra Prasetya dan Ary Bachtiar Krishna Putra
Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
E-mail: arybach@me.its.ac.id

Teknologi pendinginan lama yang mulai digunakan salah satunya adalah mesin pendingin Difusi Absorpsi COP dari mesin pendingin difusi absorpsi banyak dipengaruhi dari desain generator. Pada penelitian ini eksperimen dilakukan dengan mendesain ulang generator pada mesin pendingin difusi absorpsi yang menggunakan pasangan refrigeran R22-DMF serta penambahan fan di kondensor. Metode dalam penelitian ini adalah pengambilan data dilakukan dengan empat variasi laju pendinginan pada kondensor. Hasil yang diperoleh dari pengujian untuk variasi laju pendinginan dari 0,711 m/s hingga 2,291 m/s yaitu semakin tinggi laju pendinginan maka semakin baik performa pada sistem. Kapasitas pendinginan optimal ialah 143 W, COP tertinggi 0,96, laju alir massa refrigeran terbesar ialah 0,72 gram/s, dan circulation ratio terendah yaitu 2,11.

Kata Kunci— DMF, Kondensor, Difusi absorpsi, Coefficient of Performance.

I. PENDAHULUAN

Refrigerasi difusi absorpsi pertama kali ditemukan oleh Platen dan Munters pada tahun 1926 [1]. Fluida kerja yang digunakan pada sistem difusi absorpsi refrigerasi ini adalah refrigeran, absorben dan tambahan gas inert (hidrogen atau helium). Mesin pendingin difusi absorpsi banyak digunakan sebagai mesin pendingin *portable*.

Dari tahun ke tahun makalah tentang sistem pendingin difusi absorpsi telah banyak dijelaskan. Sebuah penelitian memodifikasi generator dan evaporator [2] dan pasangan refrigeran R22-DMF dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja dari siklus pendingin difusi absorpsi. Pada penelitian menunjukkan performansi dari siklus pendingin difusi absorpsi meningkat.

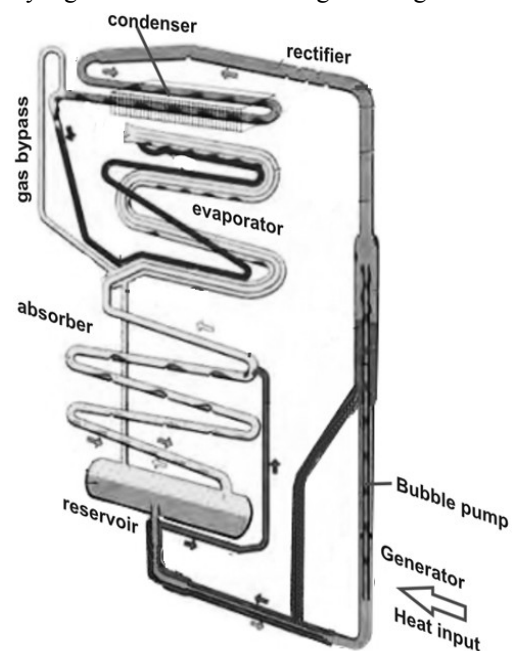
Dalam studi lainnya dari siklus pendingin difusi absorpsi [3] sebuah eksperimen memvariasikan untuk konsentrasi massa R22 dan daya generator. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan performansi (COP, Kapasitas pendinginan, Suhu evaporator dan laju alir massa refrigerant) berasal dari variasi konsentrasi massa R22 dan daya generator.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Siklus Refrigerasi Difusi Absorpsi

Siklus refrigerasi difusi absorpsi dimulai dari tangki penampung (*reservoir*) yang terdapat larutan R22-DMF. Larutan didalam reservoir tersebut dikenal dengan istilah *strong solution* (larutan kaya) ini mengalir ke generator akibat kesetimbangan level cairan antara dua bejana yang berhubungan. *Strong solution* kemudian dipanaskan di dalam generator yang menyebabkan sebagian besar R22 menguap. Gelembung-gelembung uap R22 yang terbentuk

menekan larutan cair yang berada di dalam pipa *bubble pump*. Prinsip kerja dari *bubble pump* sendiri yaitu memanfaatkan massa jenis refrigeran yang lebih rendah dibanding absorben, dan juga perbedaan titik didih dari refrigeran yang lebih rendah dibandingkan dengan absorben.



Gambar 1. Skema Refrigerasi Difusi Absorpsi R22-DMF

Uap R22 akan terus bergerak ke atas menuju *rectifier*, sementara larutan yang mengandung sedikit R22 cair (*weak solution*) dialirkan kembali menuju absorber. Uap R22 yang bergerak ke atas menuju *rectifier* ini sebenarnya masih mengandung sedikit DMF karena ketika R22 menguap di generator ada sebagian fraksi kecil DMF yang ikut menguap juga. Uap ini terus bergerak menuju *rectifier* untuk dimurnikan, dimana proses yang terjadi ialah pelepasan kalor dari sistem ke lingkungan. Saat melewati kondensor R22 vapor akan terkondensasi secara sempurna, sehingga saat keluar dari kondensor diperoleh R22 dalam fase *saturated liquid*. Desain kondensor sendiri dibuat miring agar saat R22 berubah fase jadi *saturated liquid* akan membawa R22 ke inlet evaporator secara natural akibat gaya gravitasi.

Pada inlet evaporator, R22 dengan fase *saturated liquid* bertemu dengan hidrogen sebagai gas inert yang berfungsi untuk menurunkan tekanan parsial R22 menjadi 1bar sedangkan tekanan parsial hidrogen 24bar. Turunnya tekanan mengakibatkan R22 cair dapat menguap pada temperatur yang lebih rendah. Pada saat yang sama R22 cair ini juga menerima kalor dari beban pendinginan sehingga

R22 cair mulai menguap. R22 terus menguap mengalir di dalam evaporator hingga pada *outlet* evaporator tekanan parsialnya sudah naik

B. Perhitungan Sistem Refrigerasi Difusi Absorpsi

a. *Fraksi massa*

$$X = \frac{m_{R22}}{m_{R22} + m_{DMF}}$$

b. *Laju alir massa refrigeran*

$$\dot{m}_{ref} = \frac{\rho_{udara} \cdot v \cdot A \cdot c_{p\ udara} \cdot (T_{uo} - T_{ui})}{(h_3 - h_5)}$$

c. *Laju alir massa strong solution*

$$\dot{m}_{SS} = \dot{m}_{ws} + \dot{m}_{ref}$$

d. *Laju alir massa weak solution*

$$\dot{m}_{WS} = \dot{m}_3 \frac{(X_R - X_{SS})}{(X_{SS} - X_{WS})}$$

Dimana konsentrasi *weak solution* (X_{ws}) diperoleh dari plot data temperatur dan tekanan pada P-T-X diagram [1].

e. *Kapasitas pendinginan*

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{ref}(h_7 - h_5)$$

f. Kalor yang diserap generator

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{m}_{ref} \cdot h_3 + \dot{m}_{ws} \cdot h_4 - \dot{m}_{ss} \cdot h_2$$

g. *Daya Heater*

$$\dot{Q}_{heater.gen} = V.I$$

h. Efisiensi generator

$$\eta_{gen} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{\dot{Q}_{heater\ gen}}$$

i. *Coefficient of Performance (COP)*

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{Q}_{gen}}$$

j. *Circulation ratio (f)*

$$f = \frac{\dot{m}_{ss}}{\dot{m}_{ref}}$$

C. Studi Penelitian Refrigerasi Difusi Absorpsi

Pada penelitian [2] berjudul “*Peningkatan Performa Unit Pendingin DAR dengan Modifikasi Evaporator dan Generator*” melakukan penelitian dengan membuat dan memodifikasi evaporator dan generator sistem DAR 1 dan menggunakan pasangan refrigeran R22-DMF serta hidrogen sebagai gas inert.

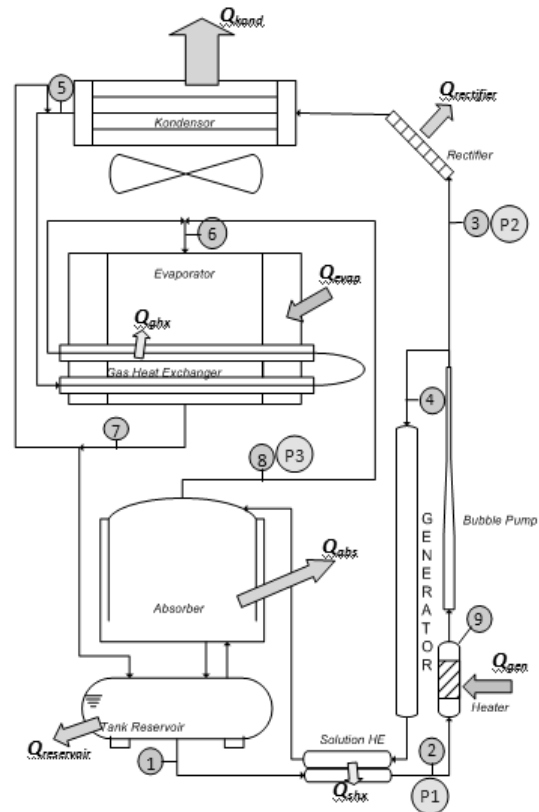


Gambar 2 Hasil Modifikasi Evaporator dan Generator [2]

Berikutnya pada penelitian [3] berjudul “*Studi Eksperimental Refrigeran-Absorben (R22-DMF) pada performansi Siklus Refrigerasi Absorpsi Difusi*” yang meneliti dengan memvariasikan konsentrasi R22-DMF dan daya panas generator.

III. METODOLOGI

A. Skema Desain Sistem Pendingin Difusi Absorpsi



Gambar 3. Desain Sistem Pendingin Difusi Absorpsi

Keterangan:

1. *Strong solution* keluar absorber
2. *Inlet generator (strong solution)*
3. *Inlet kondensor*
4. *Weak solution* keluar generator
5. *Outlet kondensor*
6. *Inlet evaporator*
7. *Outlet evaporator*
8. *Gas hydrogen dari absorber masuk inlet evaporator*
9. Heater generator

Awal mula melakukan uji kebocoran pada komponen sistem. Setelah tidak ada kebocoran, refrigerant, absorben dan gas inert di injeksikan kedalam sistem, kemudian proses *running* alat dilanjutkan proses pengambilan data dengan langkah-langkah yang sudah ditentukan pada penelitian.

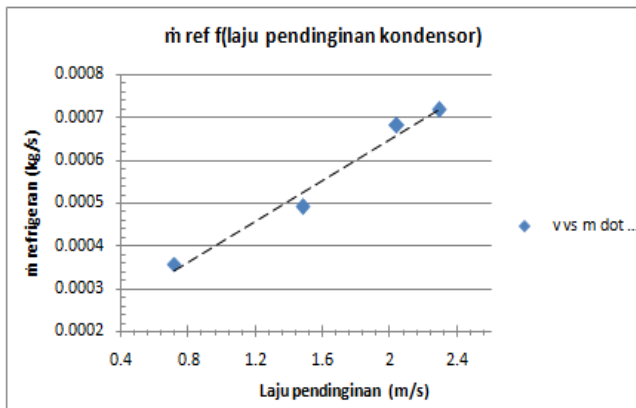
Langkah pertama menyalakan fan kondensor lalu menyalakan *heater* generator hingga sistem berjalan *steady*. Lalu dilakukan pengambilan data temperatur, tekanan pada titik-titik pengamatan serta data kecepatan fan dan udara masuk, keluar *ducting* kondensor

Setelah data pertama didapatkan dilanjutkan kembali pengambilan data secara bertahap dengan variasi laju pendinginan kondensor dari 0,72 m/s, 1,48 m/s, 2,04 m/s dan 2,29 m/s.

IV. ANALISA DATA

Pada penelitian eksperimen sistem pendingin difusi absorpsi dengan variasi laju pendinginan didapatkan beberapa analisa performansi siklus pendingin dengan grafik. Gambar 4 membahas pengaruh laju pendinginan di kondensor terhadap laju alir massa refrigeran. Dari hasil grafik menunjukkan bahwa semakin besar laju pendinginan maka semakin besar pula laju alir massa refrigeran.

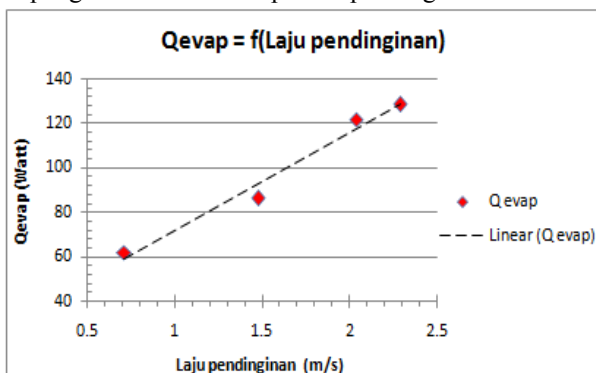
Ditinjau dari kesetimbangan energi pada kondensor yaitu $\dot{Q}_{udara} = \dot{Q}_{kondensor}$ dimana dari perumusan tersebut seiring dengan nilai kenaikan laju pendinginan kondensor dengan luasan dan massa jenis udara yang relatif konstan menyebabkan nilai dari laju alir massa refrigeran semakin besar berbanding lurus dengan kenaikan laju alir massa udara.



Gambar 4. Grafik laju alir massa refrigeran fungsi laju pendinginan

Pada gambar 5 di bawah terlihat bahwa grafik tersebut memiliki tren yang semakin relatif naik. Semakin tinggi laju pendinginan kondensor maka kapasitas pendinginan juga semakin naik.

Dengan bertambahnya laju pendinginan pada kondensor maka laju alir massa refrigeran juga semakin naik, sehingga menyebabkan kalor yang diserap refrigeran dalam evaporator untuk mengubah fase refrigeran dari cair menjadi uap juga semakin besar. Proses penguapan yang akan mengakibatkan perubahan entalpi dari *inlet* evaporator dan *outlet* evaporator ini disebut efek refrigerasi yang juga mempengaruhi nilai dari kapasitas pendinginan.



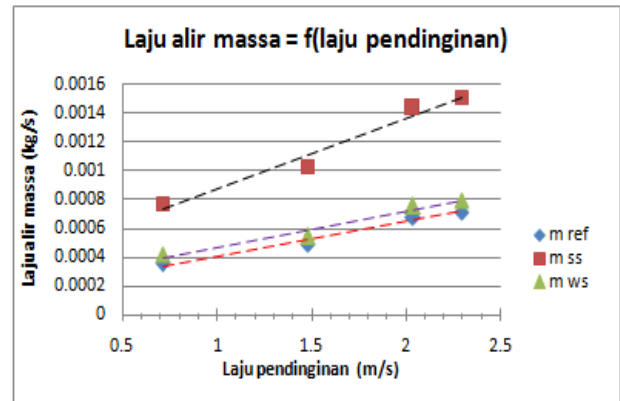
Gambar 5. Grafik Qevaporator fungsi laju pendinginan

Pada gambar 6 Grafik hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi laju pendinginan kondensor maka semakin besar pula laju alir massa *solution* maupun refrigeran.

Laju alir massa *strong solution* lebih besar dibandingkan nilai laju alir massa refrigeran maupun nilai laju alir massa *weak solution* karena dari perumusan laju alir massa *strong solution* adalah sebagai berikut $\dot{m}_{ss} = \dot{m}_{ws} + \dot{m}_R$ dimana

\dot{m}_{ss} penjumlahan dari laju alir massa refrigeran dengan \dot{m}_{ws} . Begitu juga dengan laju alir massa *weak solution* lebih besar daripada laju alir massa refrigeran karena sesuai perumusan dari laju alir massa *weak solution* sendiri yaitu:

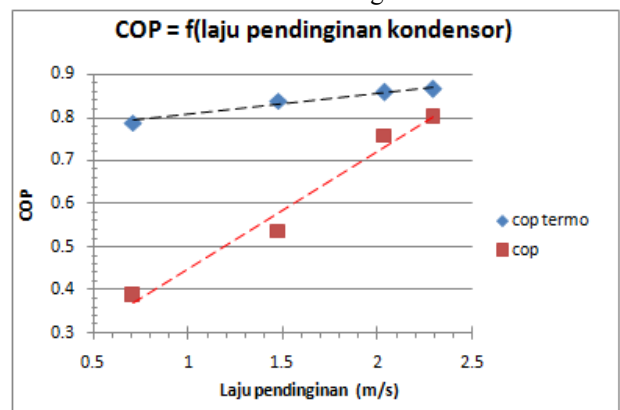
$\dot{m}_{ws} = \dot{m}_3 \frac{(X_R - X_{ss})}{(X_{ss} - X_{ws})}$ dimana laju \dot{m}_{ws} hasil perkalian dari laju alir massa refrigeran dan perbandingan konsentrasi. *Strong solution* yang mengalir dalam sistem setelah dipanaskan di generator, akan terbagi menjadi refrigeran dan *weak solution*.



Gambar 6. Grafik Laju alir massa fungsi Laju pendinginan

Pada gambar 7 terlihat bahwa COP listrik memiliki tren yang relatif naik daripada COP termo. Dengan kapasitas pendinginan pada evaporator semakin naik akibat pengaruh dari $\dot{m}_{refrigeran}$ dan efek refrigerasi yang besar dikarenakan kenaikan laju pendinginan dan dengan Daya heater yang konstan menyebabkan nilai COP listrik kenaikannya cukup signifikan.

Sedangkan peningkatan nilai COP termo sebanding dengan peningkatan dari nilai \dot{Q} evaporator, namun secara presentase peningkatan nilai \dot{Q} generator ini lebih besar dibandingkan peningkatan nilai \dot{Q} evaporator sehingga nilai dari COP termo naik tidak terlalu signifikan

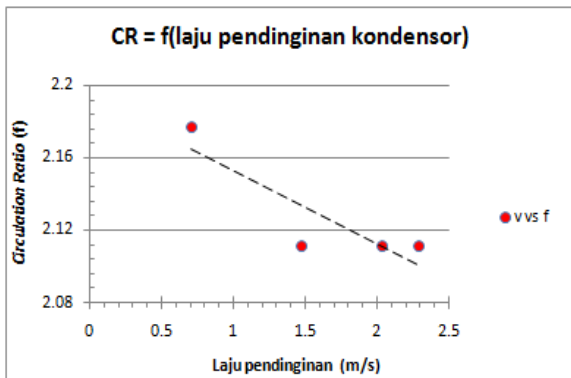


Gambar 7. Grafik COP fungsi Laju pendinginan

Pada gambar 8 di bawah hasil grafik penelitian menunjukkan bahwa *circulation ratio* terendah dari sistem pendingin difusi absorpsi ini apabila laju pendinginan kondensor diatas 1,478 m/s. Apabila dirujuk dari perumusan *circulation ratio* sendiri yaitu:

$f = \frac{\dot{m}_{ss}}{\dot{m}_{ref}}$ dapat dikatakan nilai *circulation ratio* sebanding dengan laju alir massa *strong solution*. Namun dengan meningkatnya $\dot{m}_{refrigeran}$, laju alir massa *strong solution* (\dot{m}_{ss}) meningkat lebih pesat sehingga nilai *circulation ratio* akhirnya cenderung menurun.

Selain itu nilai circulation ratio yang cenderung konstan saat variasi laju pendinginan 1,478m/s hingga 2,291m/s dikarenakan nilai dari konsentrasi *weak solution* (X_{ws}) yang konstan.

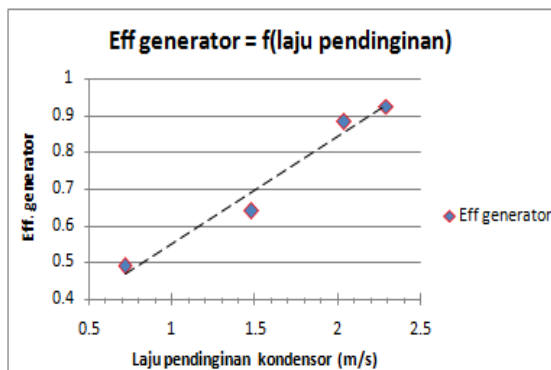


Gambar 8. Grafik Circulation ratio fungsi Laju pendinginan

Pada gambar 9 di bawah terlihat tren dari efisiensi generator yang semakin naik seiring dengan naiknya laju pendinginan pada kondensor. Ditinjau dari rumus efisiensi generator sendiri yaitu:

$$\eta_{gen} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{\dot{Q}_{heater}}$$

Efisiensi generator sebanding dengan nilai kenaikan dari kalor yang diserap generator terhadap nilai daya heater yang konstan. Dengan kenaikan laju pendinginan menyebabkan laju alir massa refrigeran naik dan juga menyebabkan kenaikan dari laju alir massa *strong solution*. Laju alir massa *strong solution* merupakan jumlah dari laju alir massa refrigeran dan laju alir massa *weak solution*. Sehingga mengakibatkan nilai dari kalor yang diserap generator juga semakin naik.



Gambar 9. Grafik Efisiensi generator fungsi Laju pendinginan

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Setelah melakukan penelitian terhadap mesin pendingin sistem difusi absorpsi R22-DMF dengan variasi laju pendinginan pada kondensor, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian sistem pendingin Difusi Absorpsi dengan variasi laju pendinginan pada kondensor dapat menunjukkan bahwa semakin tinggi laju pendinginan maka laju alir massa refrigeran, kapasitas pendinginan dan COP juga semakin meningkat.
2. Semakin tinggi laju pendinginan kondensor maka semakin baik performansi sistem dimana kapasitas pendinginan optimum yaitu 128,48 Watt dan *Coefficient of Performance* (COP) optimal mencapai 0,86.

3. Semakin tinggi laju pendinginan pada kondensor maka laju alir massa refrigeran dan *solution* juga semakin optimal. Laju alir massa refrigeran tertinggi ialah 0,72 gram/s, laju alir massa *strong solution* tertinggi sebesar 1,51 gram/s dan laju alir massa *weak solution* tertinggi adalah 0,79 gram/s.
4. *Circulation ratio* yang semakin rendah menunjukkan bahwa sistem pendingin difusi absorpsi ini semakin efisien.

NOMENKLATUR

X	Fraksi massa
X_{ss}	Fraksi massa <i>strong solution</i>
X_{ws}	Fraksi massa <i>weak solution</i>
m_{R22}	Massa <i>refrigerant</i>
m_{DMF}	Massa <i>DMF</i>
\dot{m}_{ref}	Laju alir massa refrigeran
\dot{m}_4	Laju alir massa <i>weak solution</i>
\dot{m}_2	Laju alir massa <i>strong solution</i>
ρ_{udara}	Massa jenis udara
$c_{p\ udara}$	Kalor spesifik udara
A	Luas penampang <i>ducting</i>
v	Kecepatan <i>udara</i>
h_3	Entalpi refrigeran
h_4	Entalpi <i>weak solution</i>
h_2	Entalpi <i>strong solution</i>
h_5	Entalpi <i>outlet</i> kondensor
h_7	Entalpi <i>outlet</i> evaporator
I	Kuat arus
V	<i>Voltage</i>
\dot{Q}_{evap}	Kapasitas pendinginan
\dot{Q}_{gen}	Kalor yang diserap generator
$\dot{Q}_{heater.gen}$	Daya <i>heater</i>
η_{gen}	Efisiensi generator
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
f	<i>Circulation ratio</i>

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di teknik mesin. kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak dosen pembimbing serta dosen penguji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Von Platen, B.C. & Munters, C.G., 1928. Refrigerator. U.S. Patent 1,685,764.
- [2] Rochmadi, G. F. 2012. "Peningkatan Performa Unit Pendingin DAR dengan Modifikasi Evaporator dan Generator". Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.
- [3] Ardita, I. N. 2008. "Studi Eksperimental Penggunaan Refrigeran-Absorben (R22-DMF) pada Performansi Siklus Refrigerasi Absorpsi Difusi". Surabaya: Thesis Teknik Mesin FTI-ITS.